

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-345498

(43)Date of publication of application : 14.12.2001

(51)Int.Cl.

H01L 43/08

G01R 33/09

G11B 5/39

H01L 43/12

(21)Application number : 2000-166180

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 02.06.2000

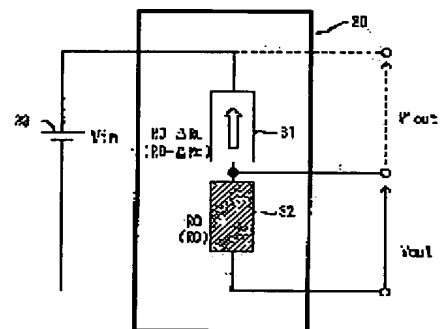
(72)Inventor : SATO HIDEKI
SUZUKI TOSHINAO
KANEKO AKIRA
IJIMA KENZABURO
MOCHIZUKI OSAMU

(54) MAGNETIC SENSOR AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve temperature characteristics of a magnetic sensor which uses a magnetic tunnel effect element and also to improve detection precision of an external magnetic field.

SOLUTION: The magnetic sensor comprises magnetic tunnel effect elements 31 and 32, and the magnetization of each fixed magnetization layer of them is in the same direction (the direction indicated with an arrow in figure 1). The magnetic sensor comprises a half bridge circuit where a magnetic tunnel effect element 31 and a magnetic-shielded magnetic tunnel effect element 32 are connected in series, to which a DC constant voltage source 33 is connected in series. A voltage across the magnetic tunnel effect element 32 is taken out as an output voltage V_{out} .



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.03.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-345498

(P2001-345498A)

(43) 公開日 平成13年12月14日 (2001. 12. 14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7 A 5 D 0 3 4
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	
G 1 1 B 5/39		H 0 1 L 43/12	
H 0 1 L 43/12		G 0 1 R 33/06	R
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-166180 (P2000-166180)

(22) 出願日 平成12年6月2日 (2000. 6. 2)

(71) 出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(72) 発明者 佐藤 秀樹

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(72) 発明者 鈴木 利尚

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

(74) 代理人 100088971

弁理士 大庭 咲夫 (外1名)

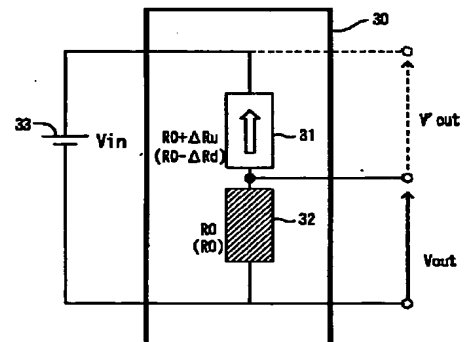
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサ及び同磁気センサの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 磁気トンネル効果素子を用いた磁気センサの温度特性を改善し、外部磁界の検出精度を向上すること。

【解決手段】 磁気センサは、磁気トンネル効果素子31、32を有し、これらの磁気トンネル効果素子の各固定磁化層の磁化の向きは、総て同一方向（図1に矢印にて示す方向）とされている。この磁気センサは、磁気トンネル効果素子31と磁気遮蔽されている磁気トンネル効果素子32とを直列接続するとともに、これに直流定電圧源33を直列に接続し、磁気トンネル効果素子32の両端電圧を出力電圧 V_{out} として取り出すハーフブリッジ回路により構成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されたものと、前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されていないものと、前記直流電圧源とを直列に接続し、前記磁気トンネル効果素子の何れかの素子の両端電圧を出力するように構成したことを特徴とする磁気センサ。

【請求項2】直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されたものの一端と前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されていないものの一端とを接続してなる回路要素を一つ備え、前記一つの回路要素の前記各磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きが略同一となるように同一対の回路要素を配設するとともに、前記一つの回路要素のうちの一回路要素の前記磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の他端と前記磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の正極と負極とにそれぞれ接続し、前記一つの回路要素のうちの他の回路要素の前記磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の他端と前記磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の負極と正極とにそれぞれ接続し、前記一つの回路要素の前記磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子と前記磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子との各接続箇所間の電位差を出力するように構成したことを特徴とする磁気センサ。

【請求項3】直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる少なくとも二つの磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、前記磁気トンネル効果素子のうちの一の磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと前記磁気トンネル効果素子のうちの他の磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きとなるように同両磁気トンネル効果素子を配設し、前記一の磁気トンネル効果素子と、前記他の磁気トンネル効果素子と、前記直流電圧源とを直列に接続し、前記磁気トンネル効果素子の何れかの素子の両端電圧を出力するように構成したことを特徴とする磁気センサ。

【請求項4】請求項3に記載の磁気センサにおいて、

前記一の磁気トンネル効果素子と前記他の磁気トンネル効果素子とが同一基板上に形成されてなることを特徴とする磁気センサ。

【請求項5】直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる第1乃至第4磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、第1磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと第2磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きとなるように同第1及び第2磁気トンネル効果素子を配設するとともに同第1磁気トンネル効果素子と同第2磁気トンネル効果素子とを各一端にて接続し、同第1磁気トンネル効果素子の他端と同第2磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の正極と負極とにそれぞれ接続し、

第3磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと第4磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きであって、同第3磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと前記第1磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きとなるように同第3及び同第4磁気トンネル効果素子を配設するとともに同第3磁気トンネル効果素子と同第4磁気トンネル効果素子とを各一端にて接続し、同第3磁気トンネル効果素子の他端と同第4磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の正極と負極とにそれぞれ接続し、前記第1磁気トンネル効果素子と前記第2磁気トンネル効果素子との接続箇所と、前記第3磁気トンネル効果素子と第4磁気トンネル効果素子との接続箇所との間の電位差を出力するように構成したことを特徴とする磁気センサ。

【請求項6】請求項5に記載の磁気センサにおいて、前記第1及び第2磁気トンネル効果素子からなる回路要素、または前記第3及び第4磁気トンネル効果素子からなる回路要素の少なくとも一つの回路要素が同一基板上に形成されてなることを特徴とする磁気センサ。

【請求項7】磁化の向きが所定の向きに固定された磁性層からなる固定磁化層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する磁性層からなる自由磁化層と、前記固定磁化層と前記自由磁化層とに挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子を複数備えた磁気センサの製造方法において、

前記固定磁化層となるべき磁性層と、前記自由磁化層となるべき磁性層と、前記両磁性層の間に挟まれた絶縁層を含む積層体を単一の基板上に複数形成する工程と、前記積層体のうちの一つの積層体に対し磁気ヘッドにより磁界を与え、同積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層の磁化の向きが所定の向きとなるように同磁性層を磁化する工程と、

前記積層体のうちの他の積層体に対し磁気ヘッドにより

磁界を与え、同積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層の磁化の向きが前記所定の向きと略反対の向きとなるように同磁性層を磁化する工程とを含んだことを特徴とする磁気センサの製造方法。

【請求項8】磁化の向きが所定の向きに固定された磁性層からなる固定磁化層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する磁性層からなる自由磁化層と、前記固定磁化層と前記自由磁化層とに挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子を複数備えた磁気センサの製造方法において、

前記固定磁化層となるべき磁性層と、前記自由磁化層となるべき磁性層と、前記両磁性層の間に挟まれた絶縁層とを含む積層体を単一の基板上に複数形成する工程と、前記複数の積層体の全体に対して所定の向きの磁界を与えて同複数の積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層を磁化する工程と、

前記積層体のうちの少なくとも一つの積層体を磁気遮蔽した後に前記複数の積層体の全体に対して前記所定の向きとは略反対の向きの磁界を与えて前記磁気遮蔽されていない積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層を再度磁化する工程とを含んだことを特徴とする磁気センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と、固定磁化層と自由磁化層との間に挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子を用いた磁気センサに関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、異方性MR効果を利用した磁気抵抗効果素子（AMR素子）、或いは巨大磁気抵抗効果を利用した巨大磁気抵抗素子（GMR素子）が広く知られている。一方、最近では、AMR素子又はGMR素子よりも磁気抵抗変化率が大きく感度が良好な素子として磁気トンネル効果素子（TMR素子）が注目されており、同素子の磁気センサへの応用開発が進められている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、磁気トンネル効果素子は温度特性が良好ではないため、磁気センサとして使用し難いという問題がある。一例として、図17は、環境温度を25、90、及び150℃に変化させた場合における、所定の磁気トンネル効果素子の外部磁界に対する抵抗値（出力）を測定した結果を示している。図17から理解されるように、外部磁界が大きく異なっている、環境温度が変化することにより素子の示す抵抗値が同じになる場合があることから、このような素子をそのまま磁気センサに用いることは困難である。

【0004】また、図18は図17に示した測定結果をもとに、横軸に環境温度をとり、縦軸に素子の抵抗値をとって、各環境温度における抵抗値の最大値と最小値を破線及び実線にてそれぞれ示したものである。一般に、磁界の向きが所定の向きであるか、又は同所定の向きとは反対の向きであるかを検出するためには、磁気センサの出力が所定の閾値以上か否かを判断する必要があるが、図18から理解されるように、この素子においては、そのような検出を行うための適切な閾値を25～150℃の環境温度範囲において設定することが困難である（図中の一点鎖線を参照）。

【0005】

【本発明の概要】本発明は、上記課題に対処するためになされたものであって、その特徴の一つは、磁気遮蔽した磁気トンネル効果素子と磁気遮蔽しない磁気トンネル効果素子とからハーフブリッジ回路を構成し、これにより磁気センサを構成したことにある。

【0006】具体的には、本発明の特徴の一つは、直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されたものと、前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されていないものと、前記直流電圧源とを直列に接続し、前記磁気トンネル効果素子の何れかの素子の両端電圧を出力するように構成したことにある。この場合において、前記両磁気トンネル効果素子は、同一基板上に形成してもよく、独立した基板上に形成してもよい。また、上記「磁気トンネル効果素子」には、「固定磁化層の固定された磁化の向きが略同一向きとされた複数の磁気トンネル効果素子を電気的に直列接続した磁気トンネル効果素子群」が含まれる。この点については、本発明の他の特徴においても同様である。

【0007】上記特徴によれば、図1に示したように、磁気遮蔽されている磁気トンネル効果素子の両端電圧を出力電圧 V_{out} とし、直流電圧源の電圧を V_{in} 、前記磁気トンネル効果素子に外部磁界が加わっていない場合の同素子の抵抗値を R_0 、十分大きな外部磁界であって、固定磁化層の磁化の向きと同一向き又は反対向きの磁界が磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子に加わった場合の抵抗変化分をそれぞれ $-\Delta R_d$ 、 $+\Delta R_u$ とするとき、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} 、最小値 V_{min} は下記数1、数2で表される。

【0008】

【数1】 $V_{max} = V_{in} / (2 - (\Delta R_d / R_0))$

【0009】

【数2】 $V_{min} = V_{in} / (2 + (\Delta R_u / R_0))$

【0010】ところで、磁気トンネル効果素子は、環境温度が変化しても上記数1の $\Delta R_d / R_0$ 、及び数2の Δ

R_u/R_0 の変化量が小さいという特性を有している。例えば、図17の測定例では、 $\Delta R_d/R_0$ ($\Delta R_u/R_0$) は、環境温度25、90、及び150℃に対し、それぞれ、0.065、0.056、及び0.049程度である。従って、環境温度が変化した場合であっても、上記磁気センサの出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} は0.51V程度 V_{in} 程度の略一定値となり、出力電圧 V_{out} の最小値 V_{min} は、0.48V程度 V_{in} 程度の略一定値となる。以上より、上記特徴を有する磁気センサは、温度特性が良好なものとなっている。

【0011】図2は、上述の図17の測定に用いた磁気トンネル効果素子により上記ハーフブリッジ回路を構成した場合における環境温度に対する出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} (ラインA)と最小値 V_{min} (ラインB)を示している。図2から理解されるように、温度特性が改善された結果、環境温度の変化があったとしても出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} とが同一の値をとることがない。これにより、外部磁界の方向の変化を検出するための閾値 (外部磁界が「0」であるときの出力電圧 V_{out} に相当する値)を、上記環境温度の全域に渡り設定することができる (ラインC参照)。即ち、上記磁気センサは、環境温度が広い範囲で変化した場合においても、外部磁界の方向の変化を確実に検出し得るものとなる。

【0012】また、図1において破線にて示したように、磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の両端電圧を出力電圧 V_{out} として取出すこともできる。この場合には、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} 及び最小値 V_{min} は、直流電圧源の電圧 V_{in} から上記最小値 V_{min} 及び最大値 V_{max} をそれぞれ減じた値となる。従って、このように出力を取り出した場合においても、温度特性は改善されており、また、外部磁界の方向の変化を精度よく検出し得る。

【0013】本発明の他の特徴は、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と、前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽したものと磁気遮蔽しないものからフルブリッジ回路を構成し、これにより磁気センサを構成したことにある。

【0014】具体的には、本発明の他の特徴は、直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されたものの一端と前記磁気トンネル効果素子であって磁気遮蔽されていないものの一端とを接続してなる回路要素を一对備え、前記一对の回路要素の前記各磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の固定磁

化層の磁化の向きが略同一となるように同一対の回路要素を配設するとともに、前記一对の回路要素のうちの一の回路要素の前記磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の他端と前記磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の正極と負極とにそれぞれ接続し、前記一对の回路要素のうち他の回路要素の前記磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子の他端と前記磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の負極と正極とにそれぞれ接続し、前記一对の回路要素の前記磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子と前記磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子との各接続個所間の電位差を出力するように構成したことにある。

【0015】これによれば、図3に示したように、上記フルブリッジ回路の出力電圧を V_{out} とし、直流電圧源の電圧を V_{in} 、前記磁気トンネル効果素子に外部磁界が加わっていない場合の同素子の抵抗値を R_0 、十分大きな外部磁界であって、固定磁化層の磁化の向きと同一向き又は反対向きの磁界が磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子に加わった場合の抵抗変化分をそれぞれ ΔR_d 、 ΔR_u とすると、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} 、最小値 V_{min} は下記数3、数4で表される。

【0016】

$$\text{【数3】 } V_{max} = V_{in} / (1 + 2 \cdot (R_0 / \Delta R_u))$$

【0017】

$$\text{【数4】 } V_{min} = V_{in} / (1 - 2 \cdot (R_0 / \Delta R_d))$$

【0018】数3、数4、及び図17の測定によれば、環境温度が25～150℃の範囲で変化するとき、最大値 V_{max} は0.0317 V_{in} ～0.0239 V_{in} の間で変化する。一方、最小値 V_{min} は、-0.0339 V_{in} ～-0.0239 V_{in} の間で変化する。即ち、上記構成によれば、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} との差 (0.0656 V_{in} ～0.0478 V_{in}) に対して、同出力電圧 V_{out} の環境温度による変動 (例えば、最大値 V_{max} の環境温度変化による変動分=0.0317 V_{in} -0.0239 V_{in} =0.0078 V_{in} 、最小値 V_{min} の環境温度による変動分=0.0239 V_{in} -0.0339 V_{in} =0.010 V_{in}) が十分小さい。また、磁気トンネル効果素子は、一般に図17に示したようなオーダーの抵抗変化特性を有する。従って、上記構成の磁気センサは、結果として温度特性が改善されたものとなる。

【0019】図4は、上記図17の測定に用いた磁気トンネル効果素子により上記フルブリッジ回路を構成した場合における環境温度に対する出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} (ラインA)と最小値 V_{min} (ラインB)を示した図である。図4から理解されるように、上記磁気センサにおいては、環境温度の変化があったとしても出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} とが同一の値となることがない。これにより、外部磁界の方向の変化を検出

するための閾値を、上記環境温度の全域に渡り設定することができる(ラインC参照)。即ち、上記フルブリッジの磁気センサは、環境温度が広い範囲で変化した場合においても、外部磁界の方向の変化を確実に検出し得るものとなる。

【0020】本発明の他の特徴は、磁気トンネル効果素子の固定磁化層の固定された磁化の向きが互いに略反対向きとなるように配設された素子によりハーフブリッジ回路を構成して磁気センサとしたことにある。

【0021】具体的には、本発明の他の特徴は、直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる少なくとも二つの磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、前記磁気トンネル効果素子のうちの一の磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと前記磁気トンネル効果素子のうちの他の磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きとなるように同両磁気トンネル効果素子を配設し、前記一の磁気トンネル効果素子と、前記他の磁気トンネル効果素子と、前記直流電圧源とを直列に接続し、前記磁気トンネル効果素子の何れかの素子の両端電圧を出力するように構成したことにある。この場合において、前記少なくとも二つの磁気トンネル効果素子は、同一基板上に形成してもよく、独立した基板上に形成してもよい。

【0022】これによれば、図5に示したように、直流電圧源の電圧を V_{in} 、前記磁気トンネル効果素子に外部磁界が加わっていない場合の同素子の抵抗値を R_0 、十分大きな外部磁界であって、固定磁化層の磁化の向きと同一向き又は反対向きの磁界が磁気トンネル効果素子に加わった場合の同素子の抵抗変化分をそれぞれ $-\Delta R_d$ 、 ΔR_u とすると、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} 、最小値 V_{min} は下記数5、数6で表される。

【0023】

【数5】 $V_{max} = V_{in} \cdot (R_0 + \Delta R_u) / (2R_0 + \Delta R_u - \Delta R_d)$

【0024】

【数6】 $V_{min} = V_{in} \cdot (R_0 - \Delta R_d) / (2R_0 + \Delta R_u - \Delta R_d)$

【0025】一般に、磁気トンネル効果素子においては、 $\Delta R_u \approx \Delta R_d$ であるので、 $\Delta R = \Delta R_u = \Delta R_d$ とすると、数5、数6は、それぞれ、以下の数7及び数8に変形される。

【0026】

【数7】 $V_{max} = V_{in} \cdot (1 + (\Delta R / R_0)) / 2$

【0027】

【数8】 $V_{min} = V_{in} \cdot (1 - (\Delta R / R_0)) / 2$

【0028】この場合、図17の測定に用いた磁気トンネル効果素子を例にとると、最大値 V_{max} は、図2のラ

インDにて示したように $0.533V_{in} \sim 0.525V_{in}$ 程度となり、最小値 V_{min} は図2のラインEにて示したように $0.468V_{in} \sim 0.475V_{in}$ 程度となる。従って、磁気遮蔽した磁気トンネル効果素子と磁気遮蔽しない磁気トンネル効果素子とによりハーフブリッジ回路を構成した上記の場合と同様に、温度特性が改善されるとともに、同場合よりも出力特性が向上する。また、この磁気センサにおいても、ラインCのように、外部磁界の向きを検出するための閾値を上記環境温度の全域に渡り設定することができるので、同磁気センサは外部磁界の方向の変化を確実に検出し得るものとなる。

【0029】本発明の他の特徴は、磁気トンネル効果素子によりフルブリッジ回路を構成するものであって、同フルブリッジ回路の対向する位置にある磁気トンネル効果素子については、その固定磁化層の固定された磁化の向きが略同一向きとなり、且つ隣接する位置にある素子については、その固定磁化層の固定された磁化の向きが略反対の向きとなるように各磁気トンネル効果素子を配設したものである。

【0030】具体的には、本発明の他の特徴は、直流電圧源と、磁化の向きが所定の向きに固定された固定磁化層と磁化の向きが外部磁界に応じて変化する自由磁化層と前記固定磁化層及び前記自由磁化層の間に挟まれた絶縁層とを含んでなる第1乃至第4磁気トンネル効果素子と、を備えた磁気センサにおいて、第1磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと第2磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きとなるように同第1及び第2磁気トンネル効果素子を配設するとともに同第1磁気トンネル効果素子と同第2磁気トンネル効果素子とを各一端にて接続し、同第1磁気トンネル効果素子の他端と同第2磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の正極と負極とにそれぞれ接続し、第3磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと第4磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きであって、同第3磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きと前記第1磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きとが略反対の向きとなるように同第3及び同第4磁気トンネル効果素子を配設するとともに同第3磁気トンネル効果素子と同第4磁気トンネル効果素子とを各一端にて接続し、同第3磁気トンネル効果素子の他端と同第4磁気トンネル効果素子の他端とを前記直流電圧源の正極と負極とにそれぞれ接続し、前記第1磁気トンネル効果素子と前記第2磁気トンネル効果素子との接続箇所と、前記第3磁気トンネル効果素子と第4磁気トンネル効果素子との接続箇所との間の電位差を出力するように構成したことにある。

【0031】この場合、上記フルブリッジ回路全体を同一基板上に形成してもよく、前記第1及び第2磁気トンネル効果素子からなる回路要素、または前記第3及び第4磁気トンネル効果素子からなる回路要素を、同回路要

素単位で同一基板上に形成してもよい。また、第1～第4磁気トンネル効果素子の各々を異なる基板上に形成することもできる。

【0032】このように構成された磁気センサにおいては、図13に示したように、第1及び第2磁気トンネル効果素子の接続点と、第3及び第4磁気トンネル効果素子の接続点との電位差が出力電圧 V_{out} として出力され、前記磁気トンネル効果素子に外部磁界が加わっていない場合の同素子の抵抗値を R_0 、十分大きな外部磁界であって、固定磁化層の磁化の向きと同一向き又は反対向きの磁界が磁気トンネル効果素子に加わった場合の同素子の抵抗変化分をそれぞれ $-\Delta R_d$ 、 ΔR_u とすると、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} 、最小値 V_{min} は下記数9、数10で表される。

【0033】

【数9】

$$V_{max} = (\Delta R_u + \Delta R_d) / (2R_0 + \Delta R_u - \Delta R_d)$$

【0034】

【数10】

$$V_{min} = -(\Delta R_u + \Delta R_d) / (2R_0 + \Delta R_u - \Delta R_d)$$

【0035】一般に、磁気トンネル効果素子においては、 $\Delta R_u = \Delta R_d$ であるので、 $\Delta R = \Delta R_u = \Delta R_d$ とくと、数9、数10は、それぞれ、以下の数11及び数12に変形される。

【0036】

【数11】 $V_{max} = 2 \cdot \Delta R / R_0$

【0037】

【数12】 $V_{min} = -2 \cdot \Delta R / R_0$

【0038】図17の測定例においては、この $\Delta R / R_0$ の値は0.065～0.049であって環境温度の変化による影響が小さい。また、この傾向は磁気トンネル効果素子に一般的である。従って、上記フルブリッジ回路の磁気センサは、温度特性が改善されたものとなる。また、最大値 V_{max} は正の値であり、最小値 V_{min} は負の値であり、それらの中央値は「0」である。従って、値「0」を閾値とすることにより、外部磁界の向きの変化を確実に検出する磁気センサが提供され得る。

【0039】また、本発明の他の特徴は、磁化の向きが所定の向きに固定された磁性層からなる固定磁化層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する磁性層からなる自由磁化層と、前記固定磁化層と前記自由磁化層とに挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子を複数備えた磁気センサの製造方法において、前記固定磁化層となるべき磁性層と、前記自由磁化層となるべき磁性層と、前記両磁性層の間に挟まれた絶縁層を含む積層体を単一の基板上に複数形成する工程と、前記積層体のうちの一つの積層体に対し磁気ヘッドにより磁界を与え、同積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層の磁化の向きが所定の向きとなるように同磁性層を磁化する工程と、前記積層体のうちの他の積層体に対し磁気ヘッド

により磁界を与え、同積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層の磁化の向きが前記所定の向きと略反対の向きとなるように同磁性層を磁化する工程とを含んだことにある。

【0040】この製造方法によれば、固定磁化層の磁化の向きが反対の向きとなっている上記磁気センサを単一基板上に容易に製造することができる。

【0041】また、本発明の他の特徴は、磁化の向きが所定の向きに固定された磁性層からなる固定磁化層と、磁化の向きが外部磁界に応じて変化する磁性層からなる自由磁化層と、前記固定磁化層と前記自由磁化層とに挟まれた絶縁層とを含んでなる磁気トンネル効果素子を複数備えた磁気センサの製造方法において、前記固定磁化層となるべき磁性層と、前記自由磁化層となるべき磁性層と、前記両磁性層の間に挟まれた絶縁層とを含む積層体を単一の基板上に複数形成する工程と、前記複数の積層体の全体に対して所定の向きの磁界を与えて同複数の積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層を磁化する工程と、前記積層体のうちの少なくとも一つの積層体を磁気遮蔽した後に前記複数の積層体の全体に対して前記所定の向きとは略反対の向きの磁界を与えて前記磁気遮蔽されていない積層体の前記固定磁化層となるべき磁性層を再度磁化する工程とを含んだことにある。

【0042】この製造方法によっても、固定磁化層の磁化の向きが反対の向きとなっている上記磁気センサを単一基板上に容易に製造することができる。

【0043】

【発明の実施の形態】以下、本発明による磁気トンネル効果素子を用いた磁気センサの各実施形態について、同各実施形態に共通に使用される磁気トンネル効果素子から説明する。図14は、かかる磁気トンネル効果素子の一部を示す概略断面図であり、図15及び図16は、図14に対応した磁気トンネル効果素子の概略平面図である。

【0044】この磁気トンネル効果素子は、例えば SiO_2/Si 、ガラス又は石英からなる基板10を備えている。基板10上には、平面形状を長方形にした複数の下部電極11が横方向に所定の間隔を隔てて一列に配置されており、下部電極11は、導電性非磁性金属材料であるCr（又はTi）により膜厚10nm程度に形成されている。各下部電極11上には、同下部電極11と同一平面形状に形成され、CoCr系金属（例えば、CoPtCr）からなり膜厚30nm程度の強磁性膜12がそれぞれ積層されている。強磁性膜12は、図16の矢印方向に磁化されている。

【0045】各強磁性膜12上には、膜厚5nm程度のNiFeからなる一対の強磁性膜13、13が間隔を隔てて積層されている。この強磁性膜13、13は、平面視において長方形（例えば、 $20 \times 12 \mu\text{m}$ ）を有し、その各長辺が平行に対向されるとともに、各短辺は

前記強磁性膜12の磁化方向と同一となるように配置されている。この強磁性膜13は、強磁性膜12と協働して磁化の向きが固定された硬質磁性の磁性膜である固定磁化層（固着層）を構成するものであり、強磁性膜12の磁化により、図16に示すように短辺方向に磁化されている。

【0046】各強磁性膜13の上には、同強磁性膜13と同一平面形状を有する絶縁層14が形成されている。絶縁層14は、絶縁材料である Al_2O_3 からなり、その膜厚は3~4nm程度となるように形成されている。

【0047】絶縁層14の上には、同絶縁層14と同一平面形状を有する強磁性膜15が形成されている。この強磁性膜15は、絶縁層14に接する膜厚2nm程度のC_o膜を下層とし、同C_o膜に接する膜厚60nm程度のNiFe膜を上層とする2層構造を有している。強磁性膜15は、その磁化の向きが外部磁界の向きに応じて変化する軟質磁性の磁性膜である自由磁化層を構成し、前記強磁性膜12、13からなる固定磁化層と前記絶縁層14とともに磁気トンネル接合構造を形成している。

【0048】各強磁性膜15の上には、同各強磁性膜15と同一平面形状のダミー膜16がそれぞれ形成されている。このダミー膜16は、膜厚30nm程度のMo膜からなる導電性非磁性金属材料によって構成されている。

【0049】基板10、下部電極11、強磁性膜12、13、絶縁層14、強磁性膜15及びダミー膜16を覆う領域には、複数の下部電極11及び強磁性膜12をそれぞれ絶縁分離するとともに、各強磁性膜12上に設けた一対の強磁性膜13、絶縁層14、強磁性膜15及びダミー膜16をそれぞれ絶縁分離するための層間絶縁層17が設けられている。層間絶縁層17は、例えばSiO₂からなり、その膜厚は250nm程度である。

【0050】この層間絶縁膜17には、各ダミー膜16上にてコンタクトホール17aがそれぞれ形成されている。このコンタクトホール17aを埋設するとともに、異なる下部電極11及び強磁性膜12上に設けた一対のダミー膜16、16の各一方間を互いに電気的に接続するように、例えば膜厚300nmのAlからなる上部電極18、18がそれぞれ形成されている。このように、下部電極11及び強磁性膜12と、上部電極18とにより、隣り合う一対の磁気トンネル接合構造の各強磁性膜15、15（各ダミー膜16、16）と各強磁性膜12、12とをそれぞれ交互に順次電気的に接続して、固定磁化層の磁化の向きが同一とされた複数の磁気トンネル接合構造を直列に接続した磁気トンネル効果素子（磁気トンネル効果素子群）が形成される。

【0051】図17は、上記基板10上の2×2mm²の領域に、上述の磁気トンネル効果素子を500個（1個の磁気トンネル効果素子は、一組の固定磁化層、絶縁層、自由磁化層を有する。従って、図14では4個の磁

気トンネル効果素子が示されている。）形成し、これらを電気的に直列接続した試料の温度特性を示す図である。この図において、ラインA、B、Cは、環境温度をそれぞれ25、90、及び150℃に変化させた場合における同試料の外部磁界に対する抵抗値の変化を示している。図17から理解されるように、外部磁界が大きく異なっている場合であっても環境温度により試料の示す抵抗値が同じになる場合があるので、このような試料をそのまま磁気センサに用いることは困難である。

【0052】次に、本発明による温度特性が改善された磁気センサの各実施形態について個別に説明する。

【0053】（第1実施形態）図1に示した第1実施形態に係る磁気センサは、図14における基板10に相当する基板30上に形成された磁気トンネル効果素子31と、同基板30上に形成され磁気遮蔽が施された磁気トンネル効果素子32とを備えている。磁気トンネル効果素子31、32の各々は、図14~図16に示したように、同一構成からなる複数個（例えば、500個）の磁気トンネル効果素子を直列接続したものである。磁気トンネル効果素子31、32を構成する前記複数の磁気トンネル効果素子の各固定磁化層の磁化の向きは、総て同一方向（図1に矢印にて示す方向）とされている。

【0054】そして、この磁気センサは、磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子31と磁気遮蔽されている磁気トンネル効果素子32とを直列接続するとともに、これに直流定電圧源33を直列に接続し、磁気トンネル効果素子32の両端電圧を出力電圧V_{out}として取り出すハーフブリッジ回路により構成されている。

【0055】この磁気センサは、以下に述べる工程を経て製造することができる。即ち、図14に示した各層11~18に相当する層を有する積層体を基板30上に形成し、次いで上記ハーフブリッジ回路を構成する。その後、磁気トンネル効果素子32となるべき積層体を軟磁性体により被覆して同積層体に対し磁気遮蔽を施す。最後に、全体に対して前記磁気遮蔽にて遮蔽できない程度の強い磁場を付与することで前記積層体を磁化（着磁）し、これにより、磁気トンネル効果素子31、32の固定磁化層の磁化の向きを固定する。

【0056】このように構成した磁気センサにおいては、磁気トンネル効果素子32が磁気遮蔽されていることから、同素子32の抵抗値は外部磁界に関わらず一定値R₀である。一方、磁気トンネル効果素子31に、同素子31の固定磁化層の磁化の向きと同じ向きの十分な外部磁界が加わっている場合には、同素子31の抵抗値はR₀-ΔR_dとなる。また、磁気トンネル効果素子31に、同素子31の固定磁化層の磁化の向きと反対向きの十分な外部磁界が加わっている場合には、同素子31の抵抗値はR₀+ΔR_uとなる。そこで、直流電圧源33の電圧をV_{in}とすると、出力電圧V_{out}の最大値V_{max}は、 $V_{\max} = V_{\text{in}} / (2 - (\Delta R_d / R_0)) \dots$ （数

1) で表され、最小値 V_{\min} は、 $V_{\min} = V_{\text{in}} / (2 + (\Delta R_u / R_0)) \dots$ (数2) で表される。

【0057】ところで、磁気トンネル効果素子は、環境温度が変化しても上記数1の $\Delta R_d / R_0$ 、及び数2の $\Delta R_u / R_0$ の変化量が小さいという特性を有している。例えば、図17の測定例では、 $\Delta R_d / R_0$ 、及び $\Delta R_u / R_0$ は共に、環境温度25、90、及び150℃に対し、それぞれ、0.065、0.056、及び0.049程度である。従って、環境温度25、90、及び150℃に対し、上記磁気センサの出力電圧 V_{out} の最大値 V_{\max} は、それぞれ略0.516 V_{in} 、0.514 V_{in} 、及び0.513 V_{in} となる。また、環境温度25、90、及び150℃に対し、上記磁気センサの出力電圧 V_{out} の最小値 V_{\min} は、それぞれ略0.484 V_{in} 、0.486 V_{in} 、及び0.488 V_{in} である。即ち、環境温度が変化した場合であっても、上記磁気センサの出力電圧 V_{out} の最大値 V_{\max} は0.51 V_{in} 程度の略一定値となり、出力電圧 V_{out} の最小値 V_{\min} は、0.48 V_{in} 程度の略一定値となる。従って、上記特徴を有する磁気センサは、温度特性が良好なものとなっている。

【0058】また、この磁気センサの環境温度に対する出力電圧 V_{out} の最大値 V_{\max} 、最小値 V_{\min} を図示した図2から理解されるように、最大値 V_{\max} (ラインA) と最小値 V_{\min} (ラインB) は、上記環境温度の全域に渡り同一の値となることがない。これにより、外部磁界の方向の変化を検出するための閾値(外部磁界が「0」であるときの出力電圧 V_{out} に相当する値)を、ラインCにて示したように上記環境温度の全域に渡り設定することができる。従って、上記磁気センサは、環境温度が広い範囲で変化した場合においても、外部磁界の方向の変化を確実に検出し得るものとなっている。

【0059】(第1実施形態の変形例) 第1実施形態の変形例は、図1において破線で示したように、磁気遮蔽された磁気トンネル効果素子32の両端電圧を出力電圧 V_{out} とする代わりに、磁気トンネル効果素子31の両端電圧を出力電圧 V^{out} としたものであり、他の部分については第1実施形態と同一である。

【0060】この場合においては、出力電圧 V^{out} の最大値 V^{max} 及び最小値 V^{min} は、直流定電圧源33の電圧 V_{in} から上記数2の最小値 V_{\min} 及び数1の最大値 V_{\max} をそれぞれ減じた値となる。従って、このように出力を取り出した場合においても、出力電圧 V^{out} の最大値 V^{max} 及び最小値 V^{min} は環境温度に関わらず略一定値となる。即ち、この磁気センサは、温度特性が改善されており、また、外部磁界の方向の変化を精度よく検出し得る。

【0061】(第2実施形態) 図3に示した第2実施形態に係る磁気センサは、図14における基板10に相当する基板40上に形成された磁気トンネル効果素子41、44と、同基板40上に形成され磁気遮蔽が施され

た磁気トンネル効果素子42、43とを備えている。磁気トンネル効果素子41～44の各々は、図14～図16に示したように、同一構成からなる複数個(例えば、500個)の磁気トンネル効果素子を直列接続したものであり、磁気トンネル効果素子41～44の各々を構成する前記複数の磁気トンネル効果素子の各固定磁化層の磁化の向きは、総て同一方向(図3に矢印にて示す方向)に固定されている。

【0062】そして、この磁気センサにおいては、磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子41の一端と磁気遮蔽されている磁気トンネル効果素子42の一端とが接続されて一の回路要素が構成され、磁気遮蔽されている磁気トンネル効果素子43の一端と磁気遮蔽されていない磁気トンネル効果素子44の一端とが接続されて他の回路要素が構成され、この一対の回路要素が直流定電圧源45に接続されてフルブリッジ回路を構成している。

【0063】即ち、磁気トンネル効果素子41の他端と磁気トンネル効果素子42の他端は、直流定電圧源45の正極と負極とにそれぞれ接続され、磁気トンネル効果素子43の他端と磁気トンネル効果素子44の他端は、直流定電圧源45の正極と負極とにそれぞれ接続されている。また、磁気トンネル効果素子41の固定磁化層の固定された磁化の向きと磁気トンネル効果素子44の固定磁化層の固定された磁化の向きとが略同一となるように、磁気トンネル効果素子41、44が配設されている。そして、磁気トンネル効果素子41と磁気トンネル効果素子42との接続点の電位と、磁気トンネル効果素子43と磁気トンネル効果素子44との接続点の電位とが取出され、これらの接続点の電位差が磁気センサの出力電圧 V_{out} となるように構成されている。

【0064】この磁気センサは、図14に示した各層11～18に相当する層を有する積層体を基板40上に形成し、これらの積層体を上述のように接続してフルブリッジ回路を構成し、その後、磁気トンネル効果素子42、43となるべき積層体を軟磁性体により被覆して磁気遮蔽を施し、最後に全体に対して前記磁気遮蔽にて遮蔽できない程度の強い磁場を付与することで前記積層体を磁化し、これにより、磁気トンネル効果素子41～44の固定磁化層の磁化の向きを固定することで製造する。

【0065】このように構成した磁気センサにおいては、磁気トンネル効果素子42、43が磁気遮蔽されていることから、同素子42、43の抵抗値は外部磁界に関わらず一定値 R_0 である。一方、磁気トンネル効果素子41、44に外部磁界が加わっていない場合には、同素子41、44の抵抗値も R_0 となる。また、磁気トンネル効果素子41、44に、これらの素子の固定磁化層の磁化の向きと同一又は反対向きの十分大きな外部磁界が加わると、同素子41、44の抵抗値は、それぞれ R

$0-R_d$ 又は R_0+R_u となる。このとき、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} は、 $V_{max}=V_{in}/(1+2\cdot(R_0/\Delta R_u))\cdots(\text{数}3)$ 、最小値 V_{min} は、 $V_{min}=V_{in}/(1-2\cdot(R_0/\Delta R_d))\cdots(\text{数}4)$ で表される。

【0066】数3、数4、及び図17の測定によれば、環境温度が25～150℃の範囲で変化するとき、最大値 V_{max} は0.0317 V_{in} ～0.0239 V_{in} の間で変化する。一方、最小値 V_{min} は、-0.0339 V_{in} ～-0.0239 V_{in} の間で変化する。即ち、上記構成によれば、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} との差(0.0656 V_{in} ～0.0478 V_{in})に対して、同出力電圧 V_{out} の環境温度による変動(例えば、最大値 V_{max} の環境温度変化による変動分=0.0317 V_{in} -0.0239 V_{in} =0.0078 V_{in} 、最小値 V_{min} の環境温度による変動分=0.0239 V_{in} -0.0339 V_{in} =0.010 V_{in})が十分小さい。これに対し、図17の測定に用いた試料の抵抗値の最大値 R_{max} と最小値 R_{min} との差 ΔR_{mm} (略0.15～0.20 Ω)は、環境温度による抵抗値の変動分(0.13～0.20 Ω)と同程度である。以上から、第2実施形態に係る磁気センサは温度特性が改善されたものとなっていることが理解される。また、磁気トンネル効果素子は、一般に図17に示したようなオーダーの抵抗変化特性を有する。従って、上記構成の磁気センサは、結果として温度特性が改善されたものとなる。

【0067】図4は、上記図17の測定に用いた磁気トンネル効果素子により上記フルブリッジ回路を構成した場合における環境温度に対する出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} (ラインA)と最小値 V_{min} (ラインB)を示した図である。図4から理解されるように、温度特性が改善された結果、環境温度の変化があつたとしても出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} とが同一の値をとることがない。これにより、外部磁界の方向の変化を検出するための閾値を、上記環境温度の全域に渡り設定することができる(ラインC参照)。即ち、上記フルブリッジの磁気センサは、環境温度が広い範囲で変化した場合においても、外部磁界の方向の変化を確実に検出し得るものとなっている。

【0068】(第3実施形態)図5に示した第3実施形態に係る磁気センサは、図14における基板10に相当する基板50上に形成された磁気トンネル効果素子51、52を備えている。磁気トンネル効果素子51、52の各々は、図14～図16に示したように、同一構成からなる複数個(例えば、500個)の磁気トンネル効果素子を直列接続したものである。各磁気トンネル効果素子51、52を構成する前記複数の磁気トンネル効果素子の各固定磁化層の磁化の向きは、素子51、52の各々において総て同一方向(図5に矢印にて示す方向)とされている。また、磁気トンネル効果素子51の固定磁化層の磁化の向きと、磁気トンネル効果素子52の固

定磁化層の磁化の向きとは互いに反対向きとなるように、同素子51、52が配設されている。

【0069】そして、この磁気センサは、磁気トンネル効果素子51と磁気トンネル効果素子52とを直列接続するとともに、これに直流定電圧源53を直列に接続し、磁気トンネル効果素子52の両端電圧を出力電圧 V_{out} として取出すハーフブリッジ回路により構成されている。

【0070】この磁気センサは以下に述べる工程を経て製造することができる。即ち、図6に平面図を、図7に正面図を示したように、図14に示した各層11～18に相当する層を有する一対の積層体51a、52aを基板50上に形成し、ハーフブリッジ回路を構成するべく導電膜54により同一対の積層体51a、52aを接続するとともに、前記直流定電圧源53と接続するための電極55、56を形成する。次いで、図8に示したように、積層体51aに対し磁気ヘッドMHを用いて磁場を付与し、同積層体51aの固定磁化層を磁化し、同磁化の向きを所定の向き(図8においては右向き)に固定する。次いで、図9に示したように、積層体52aに対し磁気ヘッドMHを用いて図8に示した磁場とは反対の向きの磁場を付与し、同積層体52aの固定磁化層を磁化し、同磁化の向きを前記所定の向きとは反対の向き(図8においては左向き)に固定する。

【0071】また、この磁気センサは、以下に述べる工程を経て製造することも可能である。即ち、先ず図10(A)に示したように、単一の基板50上に図14に示した各層からなる一対の積層体51a、52aを形成する。次いで、図10(B)に示したように、全体に一樣な磁場を付与して、積層体51a、52aの固定磁化層を同一向き(図10(B)において右向き)に磁化し、その後、図10(C)に示したように、積層体52aを軟磁性体Sにより被覆して磁気遮蔽する。そして、図10(D)に示したように、全体に対し図10(B)に矢印にて示した磁場とは反対向きの磁場(上記磁気遮蔽により遮蔽される程度の強さの磁場)を付与する。この結果、磁気遮蔽されていない積層体51aの固定磁化層の磁化の向きが磁気遮蔽された積層体52aの固定磁化層の磁化の向きと反対向きとなる。最後に、図10(E)に示したように磁気遮蔽Sを除去する。これにより、互いに固定磁化層の磁化の向きが反対向きである磁気トンネル効果素子51、52を得て、その後これらを電氣的に直列接続する。

【0072】上記第3実施形態の磁気センサにおいては、外部磁界の大きさが「0」のときは、両磁気トンネル効果素子51、52の抵抗値は共に R_0 となる。また、外部磁界の向きが磁気トンネル効果素子52の固定磁化層の磁化の向きと同一(図5において下向き)であるときは、磁気トンネル効果素子51、52の抵抗値は、それぞれ $R_0+\Delta R_u$ 、 $R_0-\Delta R_d$ となる。他方、外

部磁界の向きが磁気トンネル効果素子51の固定磁化層の磁化の向きと同一(図5において上向き)であるときは、磁気トンネル効果素子51, 52の抵抗値は、それぞれ $R_0 - \Delta R_d$, $R_0 + \Delta R_u$ となる。従って、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} は、 $V_{max} = V_{in} \cdot (R_0 + \Delta R_u) / (2R_0 + \Delta R_u - \Delta R_d) \cdots$ (数5)となり、出力電圧 V_{out} の最小値 V_{min} は、 $V_{min} = V_{in} \cdot (R_0 - \Delta R_d) / (2R_0 + \Delta R_u - \Delta R_d) \cdots$ (数6)となる。また、一般に、磁気トンネル効果素子においては、 $\Delta R_u = \Delta R_d$ であるので、 $\Delta R = \Delta R_u = \Delta R_d$ とくと、数5, 数6は、それぞれ、 $V_{max} = V_{in} \cdot (1 + (\Delta R / R_0)) / 2 \cdots$ (数7)、 $V_{min} = V_{in} \cdot (1 - (\Delta R / R_0)) / 2 \cdots$ (数8)と変形される。

【0073】この場合、図17の測定に用いた磁気トンネル効果素子を例にとると、最大値 V_{max} は、図2のラインDにて示したように $0.533V_{in} \sim 0.525V_{in}$ 程度となり、最小値 V_{min} は図2のラインEにて示したように $0.468V_{in} \sim 0.475V_{in}$ 程度となる。従って、磁気遮蔽した磁気トンネル効果素子と磁気遮蔽しない磁気トンネル効果素子とによりハーフブリッジ回路を構成した第1実施形態の場合と同様に、温度特性が改善されるとともに、同場合よりも出力特性が向上する。また、この磁気センサにおいても、ラインCのように、外部磁界の向きを検出するための閾値を上記環境温度の全域に渡り設定することができるので、同磁気センサは外部磁界の方向の変化を確実に検出し得るものとなっている。

【0074】図19は、図17の測定に用いた試料(以下、試料X)と同一構成の試料Yを試料Xと同一の基板上に形成し、上述の磁気ヘッドMHを用いた方法で試料X, Yの固定磁化層の着磁を行い、試料Yの固定磁化層の磁化の向きを試料Xのそれとは反対の向きに磁化した試料Yの外部磁界に対する抵抗値の変化を示している。この場合、試料X, 試料Yの各固定磁化層の着磁が理想的に行われれば、両者の特性は同一(同一の大きさの外部磁界で方向が反対の磁界が加わったときの抵抗値が同一)となるはずであるが、図17, 図19から解るように、試料X, Yの特性は異なっている。このことは、磁気トンネル効果素子そのものを磁気センサとして利用すると、製造誤差により検出精度が低下することを意味している。

【0075】図20は、上記試料X, Yを上記第3実施形態の磁気トンネル効果素子51, 52にそれぞれ採用し、直流定電圧源53の電圧を1Vとした場合における環境温度25, 90及び150℃での磁気センサの出力特性を示している。図20から解るように、外部磁界「0」における出力電圧 V_{out} は一定である。即ち、このように構成した磁気センサは、試料X, Yのバランスが崩れている場合であっても、精度良く外部磁界「0」(即ち、磁界の方向)を検出することができる。また、

外部磁界の絶対値が大きい場合であっても、その出力電圧の環境温度による変動は小さいことが解る。即ち、第3実施形態に係る磁気センサは、温度特性が改善されたものとなっている。

【0076】(第3実施形態の変形例)図11に示した第3実施形態に係る磁気センサの変形例は、磁気トンネル効果素子51, 52が、それぞれ別の基板50a, 50bの上に形成されてなるものである。この磁気センサの特性は第3実施形態と同じである。

【0077】この変形例に係る磁気センサは、以下に述べる工程を経て製造する。即ち、図12(A)に示したように、まず同一基板50a上に図14に示した各層からなる一対の積層体51a, 52aを形成する。このとき、積層体51a, 52aの電極51b, 52bを互いに対向する位置に設けておく。即ち、積層体51a, 52aの向きが反対となるように、同積層体を形成する。そして、全体に対して一様な外部磁界を付与して積層体51a, 52aの固定磁化層を磁化する。この時点で、磁気トンネル効果素子51, 52が得られる。次に、図12(B)に示したように、基板50aを基板50bと基板50cに切断して磁気トンネル効果素子51, 52を分離する。最後に、図12(C)に示したように、回路基板50d上に電極51b, 52bの向きが同じ向きとなるように磁気トンネル効果素子51, 52を配設して固定し、最後に各電極51b, 52bを図示したようにワイヤにより接続して上記ハーフブリッジ回路を構成する。

【0078】なお、第3実施形態及びその変形例においても、第1実施形態の場合と同様に、磁気トンネル効果素子群52の両端電圧を出力電圧 V_{out} とする代わりに、磁気トンネル効果素子51の両端電圧を出力電圧 V_{out} とすることもできる。

【0079】(第4実施形態)図13に示した第4実施形態に係る磁気センサは、図14における基板10に相当する基板60上に形成された第1～第4磁気トンネル効果素子61～64を備えている。第1～第4磁気トンネル効果素子61～64の各々は、図14～図16に示したように、同一構成からなる複数個(例えば、500個)の磁気トンネル効果素子を直列接続したものであり、第1～第4磁気トンネル効果素子61～64の各々を構成する前記直列接続された複数の磁気トンネル効果素子の固定磁化層の磁化の向きは、同第1～第4磁気トンネル効果素子61～64の各々において総て同一向きに固定されている。また、第1磁気トンネル効果素子61の固定磁化層の磁化の向きと、第2磁気トンネル効果素子62の固定磁化層の磁化の向きは反対向きとなっており、第3磁気トンネル効果素子63の固定磁化層の磁化の向きと、第4磁気トンネル効果素子64の固定磁化層の磁化の向きは反対向きとなっている。さらに、第1磁気トンネル効果素子61の固定磁化層の磁化の向き

と、第4磁気トンネル効果素子64の固定磁化層の磁化の向きは同一向きとなっており、第2磁気トンネル効果素子62の固定磁化層の磁化の向きと、第3磁気トンネル効果素子63の固定磁化層の磁化の向きは同一向きとなっている。

【0080】そして、この第4実施形態に係る磁気センサにおいては、第1～第4磁気トンネル効果素子61～64によりフルブリッジ回路が構成されている。具体的には、第1磁気トンネル効果素子61の一端と第2磁気トンネル効果素子62の一端とが接続され、同第1磁気トンネル効果素子61の他端と同第2磁気トンネル効果素子62の他端とが直流定電圧源65の正極と負極とにそれぞれ接続されている。また、第3磁気トンネル効果素子63の一端と第4磁気トンネル効果素子64の一端とが接続され、同第3磁気トンネル効果素子63の他端と同第4磁気トンネル効果素子64の他端とが直流定電圧源65の正極と負極とにそれぞれ接続されている。また、第1磁気トンネル効果素子61と第2磁気トンネル効果素子62との接続点の電位と、第3磁気トンネル効果素子63と第4磁気トンネル効果素子64との接続点の電位とが取出され、これらの接続点の電位差が磁気センサの出力電圧 V_{out} となるように構成されている。

【0081】この磁気センサは、上記第3実施形態において説明した方法と同様な方法により製造することが可能である。即ち、同一基板60上に後に上記第1～第4磁気トンネル効果素子61～64とされる積層体を形成し、これらを上記フルブリッジ回路とすべく電気的に接続し、次いで、図8、図9に示した方法と同様に、各積層体に対し磁気ヘッドを用いて磁場を付与し、同積層体の各固定磁化層を磁化する。なお、固定磁化層の磁化については、図19に示した方法と同様な方法を採用することもできる。

【0082】上記第4実施形態の磁気センサにおいては、外部磁界の大きさが「0」のときは、両磁気トンネル効果素子61～64の抵抗値は総て R_0 となる。また、外部磁界の向きが第1、第4磁気トンネル効果素子61、64の固定磁化層の磁化の向きと反対向き（図13において下向き）であるときは、第1、第4磁気トンネル効果素子61、64の抵抗値は $R_0 + \Delta R_u$ となり、第2、第3磁気トンネル効果素子62、63の抵抗値は $R_0 - \Delta R_d$ となる。他方、外部磁界の向きが第1、第4磁気トンネル効果素子61、64の固定磁化層の磁化の向きと同一向き（図13において上向き）であるときは、第1、第4磁気トンネル効果素子61、64の抵抗値は $R_0 - \Delta R_d$ となり、第2、第3磁気トンネル効果素子62、63の抵抗値は $R_0 + \Delta R_u$ となる。また、一般に、磁気トンネル効果素子においては、 $\Delta R_u = \Delta R_d$ であるので、 $\Delta R = \Delta R_u = \Delta R_d$ とおくと、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} は、 $V_{max} = 2 \cdot \Delta R / R_0 \cdots$ （数1）、最小値 V_{min} は、 $V_{min} = -2 \cdot \Delta R / R_0 \cdots$ （数

12）となる。

【0083】図17の測定例においては、 $\Delta R / R_0$ の値は0.065～0.049であり、環境温度の変化による影響が小さい。また、この特性は磁気トンネル効果素子に共通するものである。従って、上記第4実施形態の磁気センサは温度特性が改善されたものとなっている。また、最大値 V_{max} は正の値であり、最小値 V_{min} は負の値であり、それらの中央値は「0」である。従って、値「0」を閾値とすることにより、温度が大きく変わる環境において、外部磁界の向きの変化を確実に検出し得る磁気センサが提供される。

【0084】以上に説明したように、本発明の各実施形態（及び変形例）によれば、単一の磁気トンネル効果素子群の抵抗変化を検出する場合に比べて、温度特性が改善された磁気センサが提供される。また、出力電圧 V_{out} の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} とが環境温度の変化しうる全域において同一の値をとることがないので、外部磁界の方向を検出するための一定の閾値をこれらの間に設定することができる。この結果、外部磁界をメディア（磁気媒体）や磁石ロータなどで変化させて磁気情報、或いは物体の回転を検出するセンサに好適なセンサが提供された。

【0085】なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、上記各実施形態の多くにおいては、同一基板上に総ての磁気トンネル効果素子を形成したが、第3実施形態の変形例と同様に、個別の基板上に各磁気トンネル効果素子群を形成し、これらをワイヤにより接続して各ブリッジ回路を構成してもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態に係る磁気センサの概略平面図である。

【図2】 第1実施形態及び第3実施形態に係る磁気センサの外部磁界に対する出力電圧を環境温度に対して示した図である。

【図3】 本発明の第2実施形態に係る磁気センサの概略平面図である。

【図4】 図3に示した磁気センサの外部磁界に対する出力電圧を環境温度に対して示した図である。

【図5】 本発明の第3実施形態に係る磁気センサの概略平面図である。

【図6】 図5に示した磁気センサの一製造方法の工程を示す図である。

【図7】 図5に示した磁気センサの一製造方法の工程を示す図である。

【図8】 図5に示した磁気センサの一製造方法の工程を示す図である。

【図9】 図5に示した磁気センサの一製造方法の工程を示す図である。

【図10】 図5に示した磁気センサの他の製造方法を

工程順に示す図である。

【図11】 本発明の第3実施形態の変形例に係る磁気センサの概略平面図である。

【図12】 図11に示した磁気センサの製造方法を工程順に示す図である。

【図13】 本発明の第4実施形態に係る磁気センサの概略平面図である。

【図14】 本発明の各実施形態において使用される磁気トンネル効果素子の一部を示す概略断面図である。

【図15】 図14に示した磁気トンネル効果素子の層間絶縁膜及び基板を省略した同素子の概略平面図である。

【図16】 図14に示した磁気トンネル効果素子の固定磁化層を形成する強磁性膜の概略平面図である。

【図17】 ある磁気トンネル効果素子の外部磁界に対する抵抗変化を環境温度別に示す図である。

【図18】 図17の結果を得た磁気トンネル効果素子

の抵抗値の最大値及び最小値の環境温度に対する変化を示す図である。

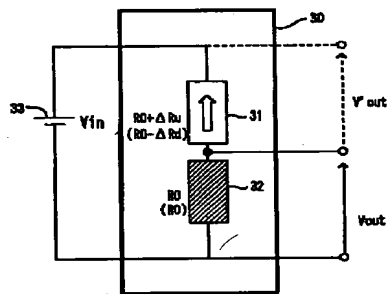
【図19】 図17の結果を得た磁気トンネル効果素子と同一基板上に形成した磁気トンネル効果素子の外部磁界に対する抵抗変化を環境温度別に示す図である。

【図20】 図17、図18の結果を得た磁気トンネル効果素子群により図5に示した磁気センサを構成した場合における、同磁気センサの外部磁界に対する出力電圧を環境温度別に示した図である。

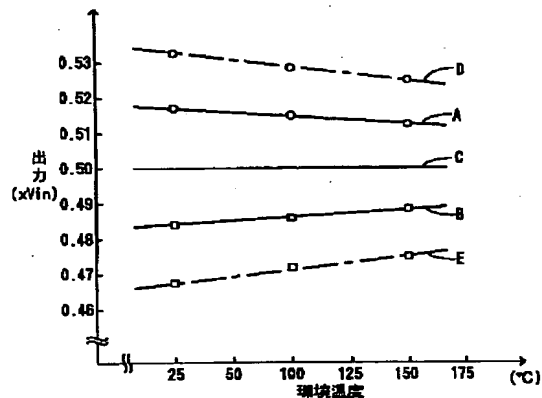
【符号の説明】

10, 30, 40, 50, 60…基板、11…下部電極、12…強磁性膜、13…強磁性膜、14…絶縁層、15…強磁性膜、16…ダミー膜、17…層間絶縁膜、18…上部電極、31, 32, 41~44, 51, 52, 61~64…磁気トンネル効果素子、33, 45, 53, 65…直流定電圧源。

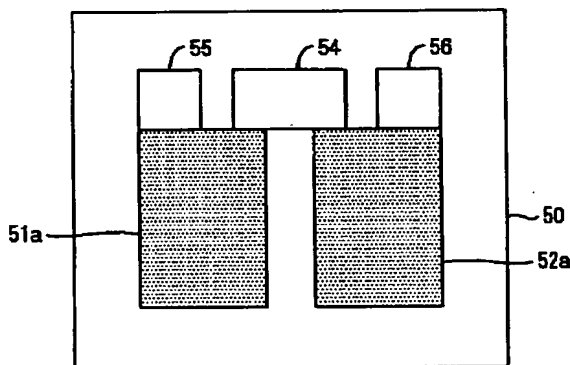
【図1】



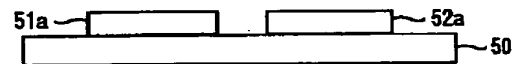
【図2】



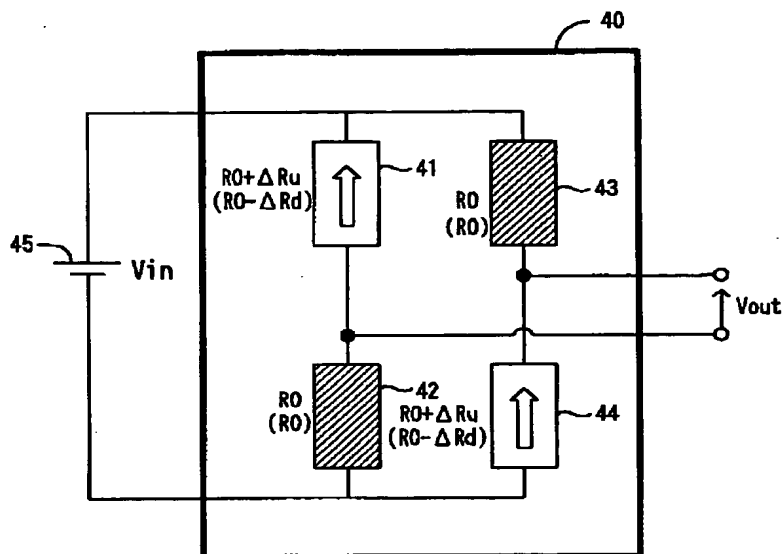
【図6】



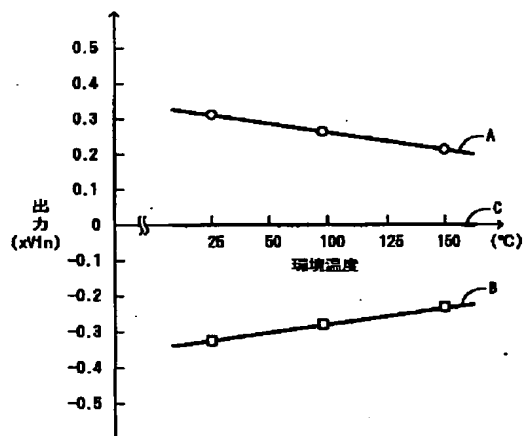
【図7】



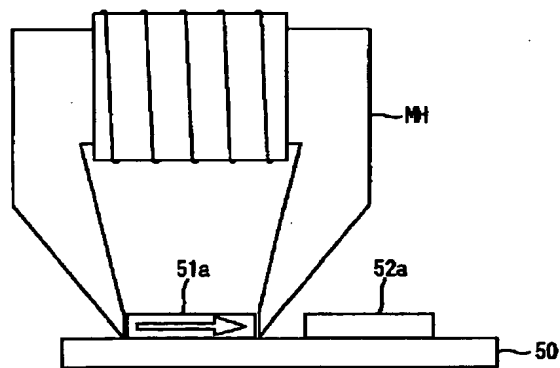
【図3】



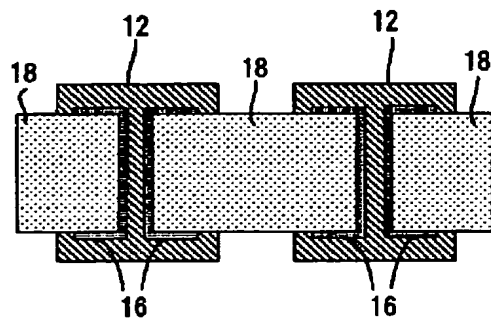
【図4】



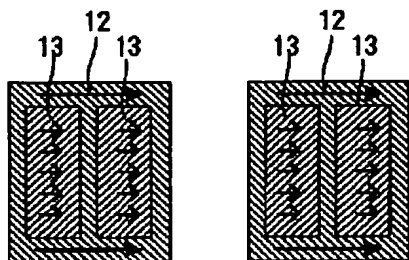
【図8】



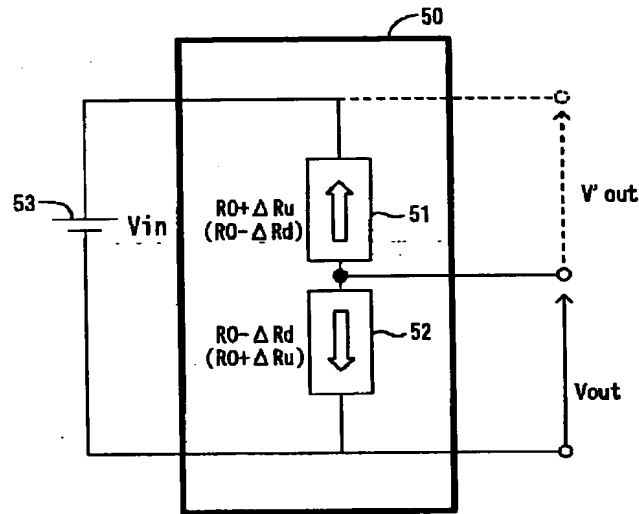
【図15】



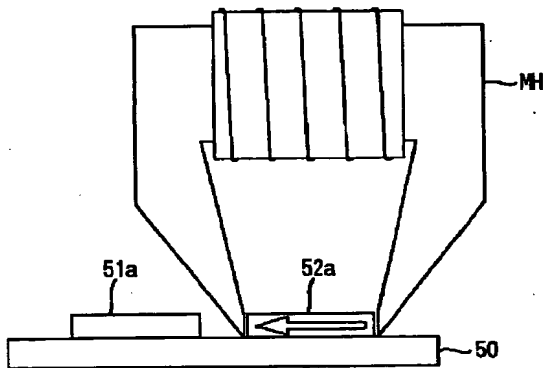
【図16】



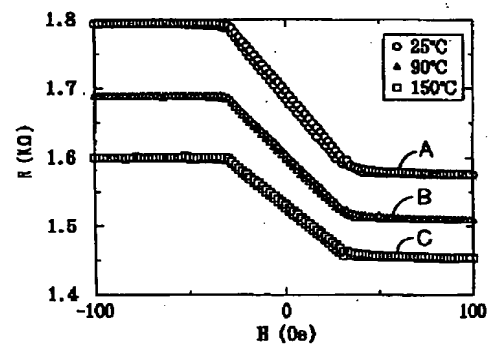
【図5】



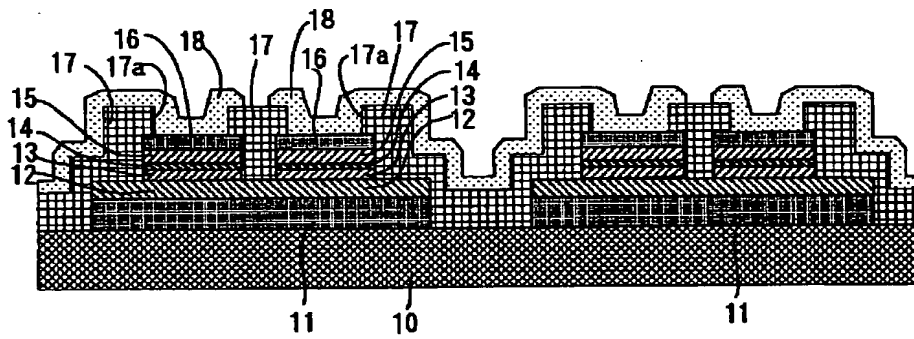
【図9】



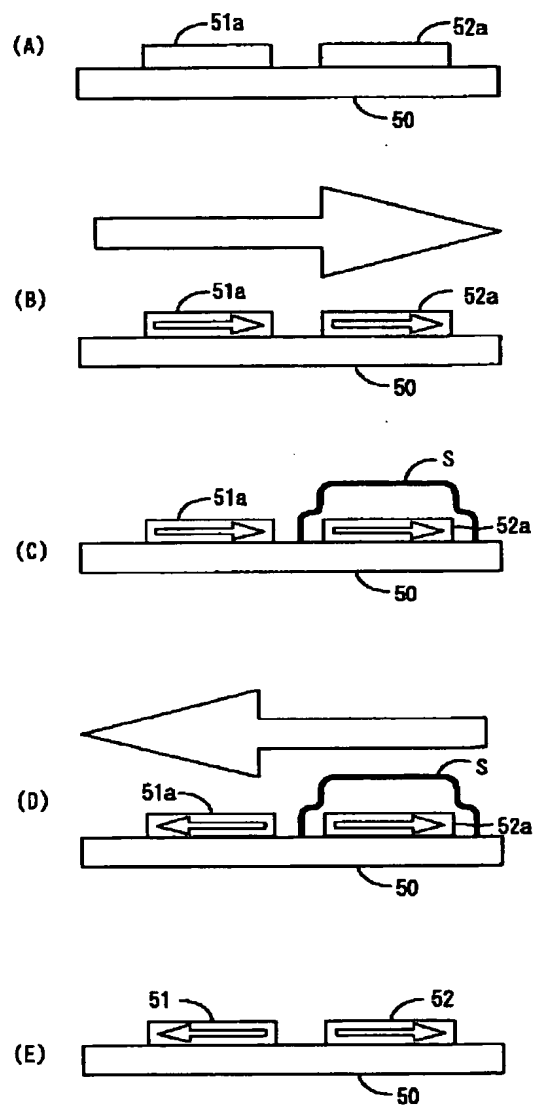
【図17】



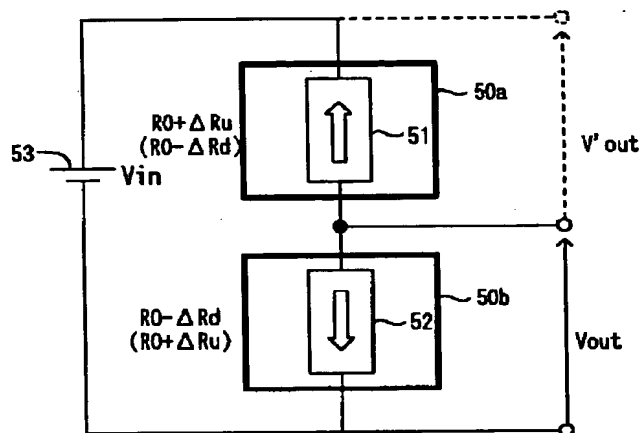
【図14】



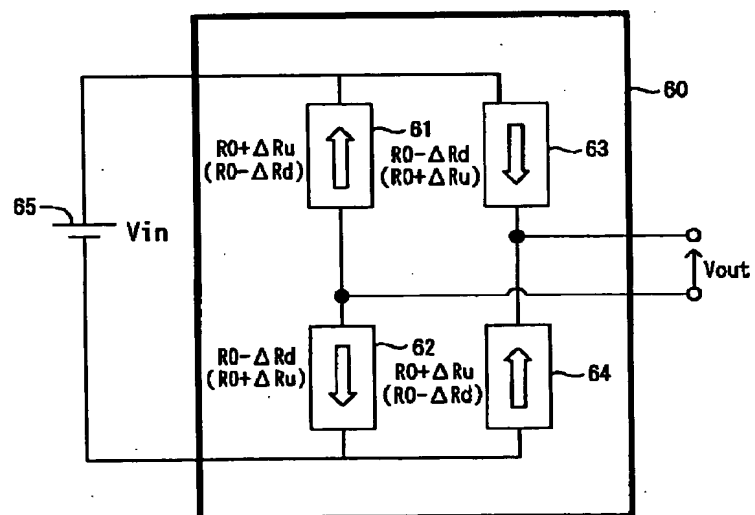
【図10】



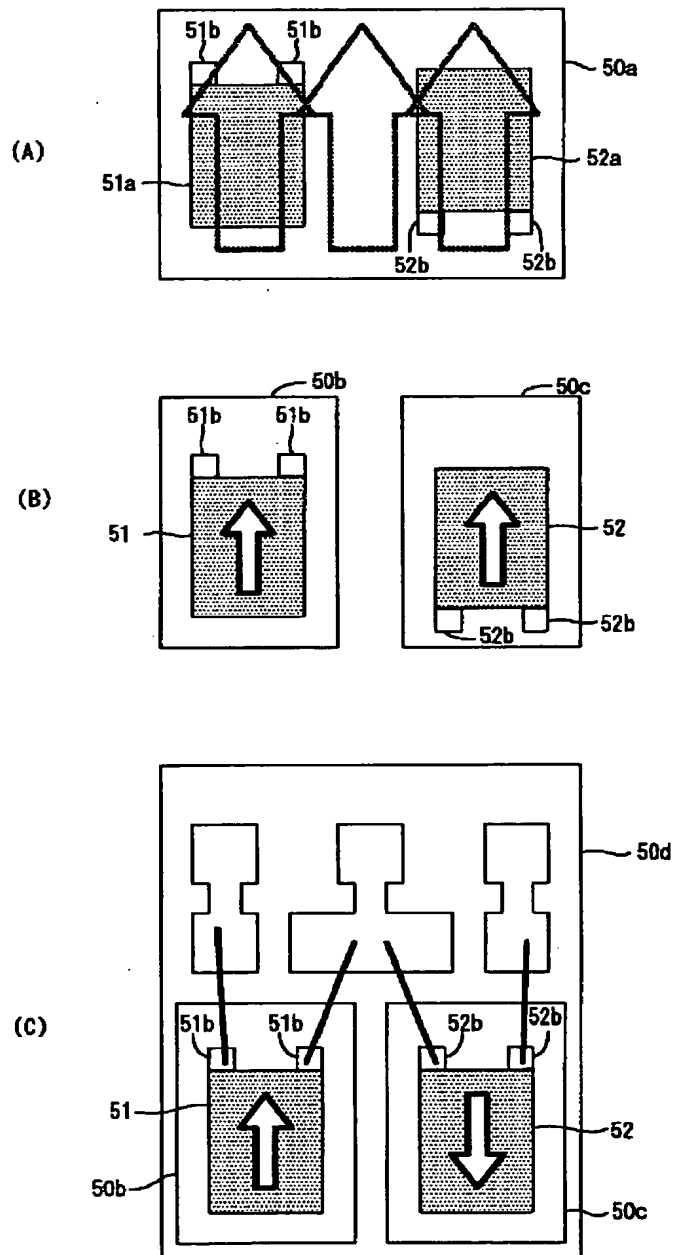
【図11】



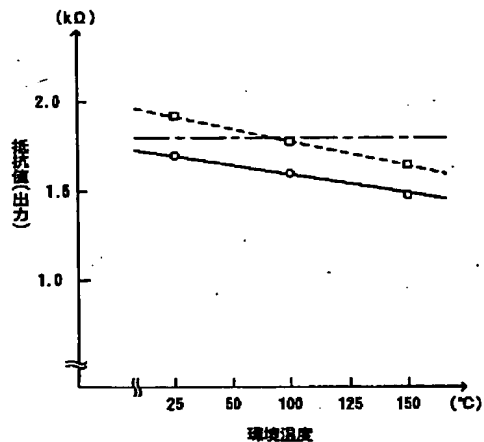
【図13】



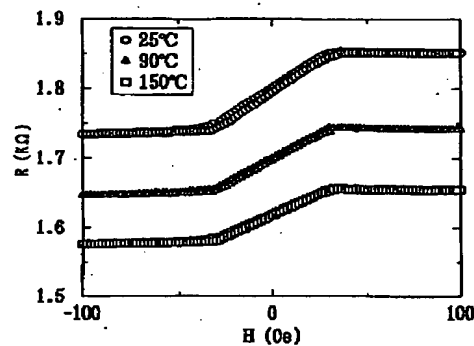
【図12】



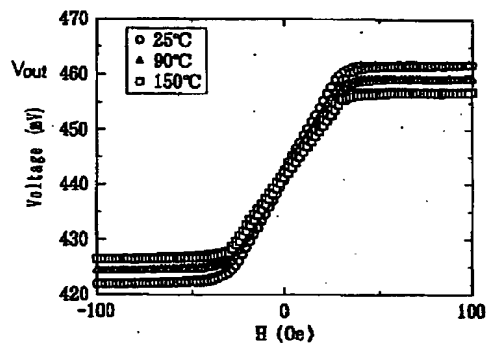
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 金子 明
静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式
会社内
(72)発明者 飯島 健三郎
静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式
会社内

(72)発明者 望月 修
静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式
会社内
Fターム(参考) 2G017 AA03 AB05 AC01 AC04 AD55
AD63 AD65 BA09
5D034 BA04 BB02 BB14 CA03 CA08
DA07